



به‌زرای کشاورزی

دوره ۲۴ ■ شماره ۲ ■ تابستان ۱۴۰۱

صفحه‌های ۴۷۹-۴۶۵

DOI: 10.22059/jci.2021.322146.2537

مقاله پژوهشی:

برآورد سطح زیرکشت محصولات کشاورزی با استفاده از تصاویر ماهواره لندست ۸ (مطالعه موردی: شهرستان شوشتر)

محمد عبیات^{۱*}، سعید امانپور^۲، محمود عبیات^۳، ماجده عبیات^۳

۱. دانش آموخته کارشناسی ارشد، گروه علوم محیط زیست، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران (خوزستان)، اهواز، ایران.

۲. دانشیار، گروه جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران.

۳. دانش آموخته کارشناسی ارشد، گروه جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران.

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۰/۰۵/۲۷

تاریخ دریافت مقاله: ۱۴۰۰/۰۱/۲۷

چکیده

تصاویر ماهواره‌ای، از قابلیت بالایی جهت برآورد سطح زیرکشت محصولات کشاورزی برخوردارند. هدف این مطالعه، شناسایی سطح زیرکشت محصولات غالب در شهرستان شوشتر با استفاده از تصاویر لندست ۸ طی دوره رشد در سال ۱۳۹۸ می‌باشد. با روش‌های طبقه‌بندی حداکثر احتمال و ماشین بردار پشتیبان در رویکرد اول و استفاده از شاخص گیاهی NDVI در رویکرد دوم، محصولات زراعی در مراحل مختلف رشد و با توجه به تقویم زراعی آن‌ها، نقشه الگوی کشت محصولات این منطقه نگاشته شد. جهت بررسی صحت نتایج، نقشه‌های تولیدشده با داده‌های مرجع موردبررسی قرار گرفت. از آمار جهاد کشاورزی استان خوزستان در سال ۱۳۹۸ نیز برای ارزیابی نتایج استفاده شد. نتایج نشان داد که ضریب کاپا و صحت کلی در روش حداکثر احتمال به ترتیب ۹۰ و ۸۰ درصد، در روش ماشین بردار پشتیبان به ترتیب ۹۲ و ۹۰ درصد و در روش استفاده از شاخص NDVI، به ترتیب ۹۵ و ۹۳ درصد محاسبه شد. براساس نتایج، سطح زیرکشت گندم، جو، برنج و ذرت، در روش حداکثر احتمال، در مقایسه با آمار جهاد کشاورزی به ترتیب خطایی برابر ۱۲/۶، ۱۶/۴، ۸/۷ و ۶/۶ درصد و در روش ماشین بردار پشتیبان به ترتیب خطایی برابر ۱۰/۱، ۸/۳، ۵/۱، ۷/۲ درصد داشته است. اما استفاده از شاخص NDVI به‌عنوان بهترین روش برآورد سطح زیرکشت در منطقه، در مقایسه با آمار جهاد کشاورزی به ترتیب دارای خطایی برابر ۲/۴، ۱/۵، ۴/۳ و ۴/۶ درصد بوده که نشان‌دهنده قابلیت بالای شاخص‌های گیاهی در برآورد سطح زیرکشت محصولات با توجه به مرحله فنولوژی آن‌ها می‌باشد.

کلیدواژه‌ها: الگوی کشت، تصاویر ماهواره‌ای، شوشتر، طبقه‌بندی، NDVI.

Estimation of Agricultural Cultivation Area by Landsat 8 Satellite Images (Case study: Shushtar Province)

Mohammad Abiyat^{1*}, Saeid Amanpour², Mahmud Abiyat³, Majedeh Abiyat³

1. Former M.Sc. Student, Department of Environmental Sciences, Islamic Azad University, Tehran (Khuzestan) Science and Research Branch, Ahvaz, Iran.

2. Associate Professor, Department of Geography and Urban Planning, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran.

3. Former M.Sc. Student, Department of Geography and Urban Planning, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran.

Received: April 16, 2021

Accepted: August 18, 2021

Abstract

Satellite images have a high capability to estimate the area under agricultural crops. This study aims at identifying the area under dominant crops such as in Shushtar Province, using Landsat 8 satellite images during the growing season during 2019. With Maximum Probability technique and Support Vector Machine in the first approach and using NDVI index in the second one, crops in different growing seasons and according to their calendar, a cropping pattern map has been drawn. In order to evaluate the results' accuracy, the generated maps have been examined with the reference data. Agricultural Jihad statistics of Khuzestan are also used with the results showing that Kappa coefficient and overall accuracy are calculated as 90% and 80% in the Maximum Probability technique, 92% and 90% in the Support Vector Machine, and 95% and 93% in the NDVI, respectively. Based on the results, the cultivation area of wheat, barley, rice, and corn, in the Maximum Probability technique, in comparison with the statistics of Agricultural Jihad, has had an error of 12.6%, 16.4%, 8.7%, and 6.6%, respectively and in case of the Support Vector Machine, an error of 10.1%, 8.3%, 5.1%, and 7.2%, respectively. However, using the NDVI index as the best approach to estimate the cultivation area in this region, in comparison with the statistics of Agricultural Jihad, has had an error of 2.4%, 1.5%, 4.3%, and 4.6%, respectively, which indicates the high capability of vegetation indices to estimate the Cultivation Area, in accordance with their phenological stage.

Keywords: Classification, cultivation pattern, NDVI, satellite imagery, Shushtar.

۱. مقدمه

اراضی را با دقت مناسبی برآورد کرد (Mousavi *et al.*, 2021). همچنین استفاده از تصاویر چندزمانه در طول دوره رشد محصولات کشاورزی، امکان استفاده از منحنی طیفی زمانی (که با تقویم زراعی هر محصول ارتباط دارد) را می‌دهد. این منحنی طیفی برای هر محصول تقریباً مجزا بوده و قابلیت تمایز بین محصولات مختلف را بالا می‌برد (Rahimzadegan & Pourgholam, 2017). به‌علت مشابهت طیفی میان محصولات، امکان استفاده از یک تصویر به‌منظور استخراج سطح زیرکشت وجود ندارد (Caren *et al.*, 2001). اگر اختلاف بالای فنولوژیک میان گونه‌ها باشد، تفکیک گونه‌ها مناسب‌تر است (Sadoghi & Rouhani, 2021). به همین دلیل برای تفکیک بین محصولات کشاورزی مختلف با استفاده از تصاویر چندطیفی، اغلب از تصاویر چندزمانه استفاده می‌شود (Joshi *et al.*, 2006).

تاکنون پژوهش‌های متعددی در رابطه با برآورد سطح زیرکشت محصولات مختلف با انواع روش‌ها و داده‌های سنجنش از دور به انجام رسیده است. Huang *et al.* (2002) میزان دقت طبقه‌بندی ماشین بردار پشتیبان که با کرنل‌های مختلف انجام شده بود را با روش‌های شبکه عصبی، حداکثر احتمال و درخت تصمیم‌گیری مقایسه کردند. با توجه به نتایج مطالعه روش ماشین بردار پشتیبان در مقایسه با روش‌های دیگر، بیش‌ترین دقت و روش حداکثر احتمال، کم‌ترین دقت را داشت. Lobell *et al.* (2003) در مکزیک با ترکیب فنولوژی رشد محصول و تصاویر لندست سال ۲۰۰۰ میزان محصول را برآورد کردند و به این نتیجه رسیدند که نتایج پیش‌بینی محصولات در مقیاس محلی تا ۲۰ درصد متغیر است. هم‌چنین شاخص‌های پوشش گیاهی نظیر NDVI برای تعیین محصول مناسب هستند.

Rahimzadegan & Pourgholam (2017) جهت تعیین سطح زیرکشت گیاه زعفران شهرستان تربت‌حیدریه از روش‌های طبقه‌بندی تصاویر لندست و شاخص‌های گیاهی

کشاورزی، به‌عنوان اصلی‌ترین رکن تأمین نیازهای غذایی یک جامعه توجه مدیران و سیاست‌گذاران را به خود معطوف کرده است. تضعیف کشاورزی معادل از دست‌رفتن بخش مهمی از ذخیره‌های غذایی، امنیت و دسترسی به غذا است. کشاورزی پایدار و محصولات زراعی و باغی آن، در تولید غذا و امنیت غذایی جمعیت در حال رشد نقش کلیدی دارد (Mushtaq & Asima, 2014; Gumma *et al.*, 2016). افزایش جمعیت و بلایای طبیعی مانند خشکسالی، سیل، بر مناطق کشاورزی تأثیر گذاشته و به‌طور مداوم باعث تغییر الگوی کشت و آمار مربوط به آن شده است (Kumar & Jeganathan, 2017). الگوی کشت، حاصل نتیجه کنش متقابل انسان و محیط طبیعی است که منجر به شکل‌گیری چشم‌انداز جغرافیایی می‌شود (Riahi *et al.*, 2019).

برآورد سطح زیرکشت محصولات کشاورزی، مهم‌ترین نیاز برنامه‌پایش محصول است (Gallego *et al.*, 2008). آگاهی از انواع محصولات و وضعیت سطح زیرکشت آن‌ها به‌عنوان اولین گام در ساماندهی الگوی کشت مطرح می‌شود (Sadoghi & Rouhani, 2021). آمارهای دقیق کشاورزی، ابزار مهمی برای درک روند تولید غذا و سیاست‌گذاری و برنامه‌ریزی‌های اقتصادی است (Jain *et al.*, 2017). پایش دوره‌های شرایط محصول به تولید بهینه و برنامه‌ریزی برای تهیه، توزیع و صادرات کمک می‌کند (Yadav *et al.*, 2002). از سوی دیگر، داده‌های سنجنش از دور بسته به قدرت تفکیک مکانی، رادیومتری، طیفی و زمانی می‌توانند اطلاعات به هنگام، صحیح و واقعی از سطح زیرکشت انواع محصولات را فراهم کنند (Nguyen & Wagner, 2017; King *et al.*, 2017).

با استفاده از داده‌های سنجنش از دور می‌توان بدون مراجعه مستمر به مزارع کشاورزی با صرف زمان و هزینه کم‌تری نسبت به سایر روش‌های معمول، سطح زیرکشت

گندم نیز با استفاده از سطح زیرکشت به دست‌به‌دست آمده از روش طبقه‌بندی، با آمار سازمان تعاونی روستایی مقایسه شد که میزان انحراف ۱۷ درصد را نشان داد.

پژوهش حاضر با انگیزه یافتن روشی سریع همراه با دقتی قابل قبول برای برآورد سطح زیرکشت محصولات کشاورزی شهرستان شوشتر در استان خوزستان با فناوری سنسجس از دور و تصاویر ماهواره‌ای انجام شده است. شهرستان شوشتر یکی از مراکز مهم کشاورزی در کشور ایران به‌شمار می‌شود، بنابراین آگاهی از وضعیت سطح زیرکشت محصولات کشاورزی در این شهرستان می‌تواند کمک شایانی در تعیین میزان تولید خالص و میزان کمبود یا مازاد تولیدات کشاورزی، به‌منظور ثبات بازار داشته باشد. پژوهش حاضر در نظر دارد با تمرکز بر مناطق جنوب‌غربی کشور در میان الگوریتم‌های مختلف طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای و شاخص‌های پوشش گیاهی، بهترین روش را به‌منظور برآورد سطح زیرکشت محصولات کشاورزی در شهرستان شوشتر معرفی کند. لذا هدف این مطالعه، استفاده از تکنیک سنسجس از دور و تصاویر لندست ۸ در طول دوره رشد برای شناسایی سطح زیرکشت محصولات کشاورزی بود.

۲. مواد و روش‌ها

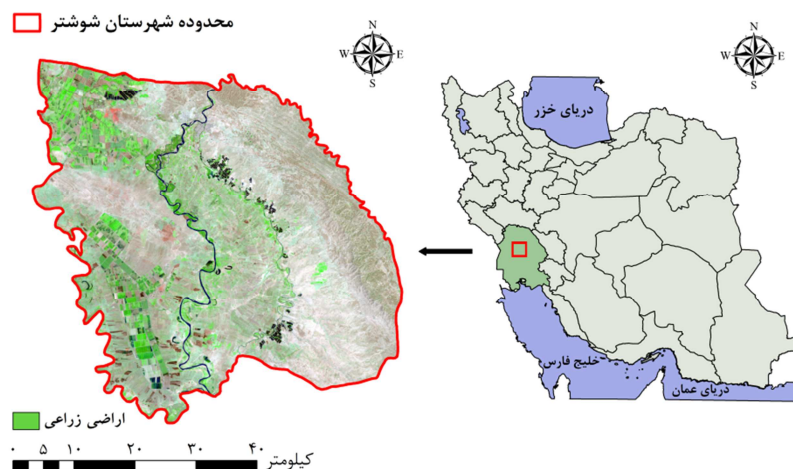
۲.۱. منطقه مورد مطالعه

شهرستان شوشتر با مساحت ۲۴۳۲۸۲/۱۵ هکتار و ارتفاع ۱۵۰ متر از سطح آب‌های آزاد، در موقعیت جغرافیایی ۴۸ درجه و ۳۳ دقیقه تا ۴۹ درجه و ۱۲ دقیقه طول شرقی و ۳۱ درجه و ۳۶ دقیقه تا ۳۲ درجه و ۸ دقیقه عرض شمالی و در شمال شرقی جلگه خوزستان واقع شده است (شکل ۱). این شهرستان دارای تابستان‌های گرم و زمستان‌های معتدل مدیترانه‌ای است. در شهرستان شوشتر، بیش از ۷۵ هزار هکتار زمین کشاورزی آبی و دیم وجود دارد و سالانه ۵۵۰ هزار تن محصول در این شهرستان تولید می‌شود.

در دوره اوج سبزی‌نگی زعفران با بررسی تقویم زراعی آن استفاده کردند. نتایج آن‌ها نشان داد سطح زیرکشت در روش ماشین بردار پشتیبان با صحت کلی ۹۵ درصد و ضریب کاپای ۹۰ درصد به‌عنوان بهترین روش رویکرد اول، در مقایسه با آمار جهاد کشاورزی خطایی حدود ۱۸ درصد داشت. اما استفاده از شاخص NDVI به‌عنوان بهترین روش در رویکرد دوم، نشان‌دهنده سطح ۷۱۱۸ هکتار بود که در مقایسه با آمار جهاد کشاورزی (۷۵۵۰ هکتار)، خطایی حدود ۵/۷ درصدی را نشان داد. بنابراین نتایج پژوهش نشان‌دهنده کارایی مناسب شاخص‌های گیاهی زمان‌مند در برآورد سطح زیرکشت زعفران با توجه به فنولوژی آن بود.

Riahi et al. (2019) نقشه الگوی کشت محصولات

زراعی غالب ناحیه لنجانان اصفهان را با استفاده از تصاویر لندست ۸ و طبقه‌بندی حداکثر احتمال و شاخص NDVI با توجه به تقویم زراعی آن‌ها تهیه کردند. نتایج نشان داد که سطح زیرکشت گندم و جو، برنج، سیب‌زمینی و علوفه در روش حداکثر احتمال، در مقایسه با آمار جهاد کشاورزی به‌ترتیب خطایی برابر با ۱۰/۲، ۱۸/۶ و ۱/۸ داشت. اما استفاده از شاخص NDVI در مقایسه با آمار جهاد کشاورزی به‌ترتیب دارای خطایی برابر با ۶/۶، ۶/۵ و ۳/۲ درصد بوده که نشان‌دهنده کارایی مناسب شاخص گیاهی در برآورد سطح زیرکشت محصولات با توجه به فنولوژی آن‌ها بود. Mousavi et al. (2021) به‌منظور برآورد سطح زیرکشت گندم دیم منطقه سجاس رود در زنجان از تصاویر ماهواره‌ای سنتینل ۲ و دو روش ماشین بردار پشتیبان و حداکثر احتمال استفاده کردند. نتایج نشان داد ماشین بردار پشتیبان با دقت کلی ۸۹ درصد و ضریب کاپای ۸۸ درصد، نسبت به روش حداکثر احتمال از دقت بالاتری برخوردار است و جهت استخراج سطح زیرکشت روش ماشین بردار پشتیبان را پیشنهاد شد. مقایسه نتایج سطح زیرکشت با آمار جهاد کشاورزی انحراف ۱۸ درصد را نشان داد. میزان محصول



شکل ۱. موقعیت منطقه مورد مطالعه

۲.۲. داده‌های مورد استفاده

اطلاعات مورد استفاده در این پژوهش، شامل تصاویر ماهواره‌ای و اطلاعات مربوط به تقویم زراعی محصولات منطقه، به‌ویژه محصولات عمده و تطابق تاریخی با سایر محصولات کشاورزی است. هم‌چنین، از آمار سازمان جهاد کشاورزی استان خوزستان در سال ۱۳۹۸ جهت ارزیابی نتایج استفاده شد. در پژوهش حاضر، کلیه پردازش‌های لازم بر روی تصاویر OLI^۱ لندست ۸ صورت پذیرفت. این داده‌ها از سایت USGS (www.earthexplorer.usgs.gov) تهیه شدند. پردازش لازم برای انتخاب زمان مناسب برای تهیه تصاویر براساس نوع محصولات عمده (گندم، جو، برنج و ذرت) انجام گرفت. هم‌چنین، برای شناسایی انواع محصولات زراعی و تعیین نقشه الگوی کشت، براساس تقویم زراعی و مراحل فنولوژی محصولات، تصاویر با پوشش کم ابری از فروردین‌ماه تا شهریورماه ۱۳۹۸ به‌طور ماهانه و نزدیک به زمان رشد محصولات کشاورزی تهیه شد (جدول ۱).

جدول ۱. تصاویر مورد استفاده از سنجنده OLI لندست ۸

شماره تصویر	تاریخ شمسی	تاریخ میلادی
تصویر ۱	۱۴ فروردین ۱۳۹۸	۳ آوریل ۲۰۱۹
تصویر ۲*	۱۷ اردیبهشت ۱۳۹۸	۷ مه ۲۰۱۹
تصویر ۳	۱۶ خرداد ۱۳۹۸	۶ ژوئن ۲۰۱۹
تصویر ۴*	۱۶ تیر ۱۳۹۸	۷ ژوئیه ۲۰۱۹
تصویر ۵	۱۴ مرداد ۱۳۹۸	۵ اوت ۲۰۱۹
تصویر ۶*	۱۵ شهریور ۱۳۹۸	۶ سپتامبر ۲۰۱۹

* تصاویر ماهواره‌ای منتخب

برای تفکیک اراضی زیرکشت منطقه مورد مطالعه، از تصاویر ۱۷ اردیبهشت‌ماه ۱۳۹۸، ۱۶ تیرماه ۱۳۹۸ و ۱۵ شهریورماه ۱۳۹۸ سنجنده OLI استفاده شد. در جدول (۲)، مقایسه تقویم زراعی محصولات مختلف برای تعیین زمان مناسب تهیه تصویر نشان داده شده است.

۳.۲. پیش‌پردازش تصاویر ماهواره‌ای

به‌دلیل آن‌که تصاویر لندست ۸ زمین مرجع بوده و در مختصات جهانی با دقت مناسب عرضه و منتشر می‌شوند، از همان اطلاعات زمین مرجع موجود در تصاویر استفاده شد.

1. Operational Land Imager

برآورد سطح زیرکشت محصولات کشاورزی با استفاده از تصاویر ماهواره لندست ۸ (مطالعه موردی: شهرستان شوشتر)

جدول ۲. مقایسه تقویم زراعی محصولات غالب در منطقه

نوع محصول	تصویر ۱۷ اردیبهشت ماه ۱۳۹۸	تصویر ۱۶ تیرماه ۱۳۹۸	۱۵ شهریورماه ۱۳۹۸
گندم	کمی قبل از اوج سبزیگی	زرد شده	کشت نشده
جو	اوج سبزیگی	برداشت شده	کشت نشده
برنج	کشت نشده	آغاز خوشه‌دهی	رسیدگی کامل
ذرت	کشت نشده	اوایل رویش و بازتاب خاک غالب است*	کمی قبل از اوج سبزیگی

* به دلیل عدم وجود گیاه روی سطح خاک

۴.۲. طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای

به منظور طبقه‌بندی تصاویر (رویکرد اول)، ابتدا اقدام به برداشت نمونه‌های تعلیمی به عنوان الگوی مشخصات طیفی طبقات از منطقه شد. بخشی از داده‌ها جهت آموزش تصویر و بخشی از آن برای برآورد صحت نتایج طبقه‌بندی به کار گرفته شده است. به برای اینکه مقایسه درستی بین روش‌های طبقه‌بندی انجام شود، نقاط آموزشی و آزمایشی یکسانی برای تمام روش‌های طبقه‌بندی در نظر گرفته شد. تعداد پیکسل‌های نمونه‌های آموزشی و آزمایشی در جدول (۳) آورده شده است.

جدول ۳. تعداد پیکسل‌های نمونه‌های آموزشی و آزمایشی

کلاس	تعداد پیکسل‌های نمونه‌های آموزشی	تعداد پیکسل‌های نمونه‌های آزمایشی
گندم	۱۳۷	۱۲۲
جو	۱۴۱	۱۰۳
برنج	۱۵۵	۱۴۵
ذرت	۲۱۵	۲۲۶

۵.۲. شاخص واگرایی

برای انتخاب ترکیبات بانندی مناسب برای طبقه‌بندی، میزان تفکیک‌پذیری کلاسه‌های مختلف بر پایه معیار تفکیک‌پذیری شاخص واگرایی^۲ بررسی شد. نسبت

جهت افزایش میزان اطلاعات قابل استخراج از تصاویر، تصحیحات رادیومتریکی و اتمسفری بر روی تصاویر نیاز بود. به دلیل اثرات جو بر روی میزان انرژی ثبت شده توسط سنجنده، برای تحلیل داده‌های تصویر باید اثر جو در صورت امکان تعدیل شود. به دلیل استفاده از روش‌های طبقه‌بندی و شاخص‌های طیفی، اثرات جو بر روی نتایج آن‌ها تأثیر زیادی نداشت. بنابراین از روش تفریق پیکسل تاریک^۱ استفاده شد. در حالت ایده‌آل پدیده‌های تیره دارای تابش صفر در همه طول موج‌ها هستند. در این روش فرض می‌شود که در هر باند از تصویر می‌توان پیکسل‌هایی مانند آب یافت که مقادیر بازتابندگی آن‌ها صفر یا نزدیک به صفر باشد. به این ترتیب اثر پخش جوی به صورت مقدار ثابت به پیکسل‌ها در هر باند اضافه می‌شود. به همین جهت برای حذف خطای اتمسفریک، بایستی مقدار ثابتی از ارزش پیکسل‌های هر باند کم شود (Bagan & Yamagata, 2012). تصاویر سنجنده OLI توسط شرکت تأمین‌کننده، مورد تصحیح رادیومتریکی قرار گرفته‌اند، به طوری که بسیاری از خطاهای مکانیکی / الکترونیکی بر روی آن‌ها اصلاح شده است، در نتیجه این تصاویر نیاز به تصحیح رادیومتریکی نداشتند.

2. Divergence index

1. Dark-Object Subtraction

ویژگی داده‌های آموزشی، کلاس‌های مختلف را با حداکثر جدایی بین آن‌ها، تفکیک می‌نماید. ابر صفحه‌ای که حداکثر حاشیه را بین دو کلاس فراهم می‌نماید، ابر صفحه بهینه و داده‌های نزدیک‌تر به ابر صفحه، بردارهای پشتیبان^۱ نامیده می‌شوند (Kavzoglu & Colkesen, 2009). در بخش طبقه‌بندی مربوط به ماشین بردار پشتیبان چهار نوع کرنل^۲ به نام‌های خطی^۳، چندجمله‌ای^۴، شعاعی^۵ و پیچشی^۶ قابل تعریف است (Dixon & Candade, 2008). انتخاب کرنل مهم‌ترین مسأله در اجرا و عملکرد طبقه‌بندی‌کننده ماشین بردار پشتیبان می‌باشد. کرنل‌های متداول شامل پیچشی و شعاعی می‌باشند. در این پژوهش، کرنل شعاعی با توجه به عملکرد بهتر نسبت به کرنل‌های دیگر استفاده شد (Petropoulos et al., 2011; Knorn et al., 2003; Keuchel et al., 2009; al., 2009). علاوه بر این، کرنل شعاعی فقط به یک پارامتر از پیش تعریف‌شده نیاز دارد، که در پیاده‌سازی، آن را در مقایسه با کرنل‌های دیگر کاراتر می‌سازد (Huang, 2002).

۸.۲. ارزیابی دقت روش‌های طبقه‌بندی

لازمه هر نوع طبقه‌بندی تصاویر، آگاهی از میزان صحت آن می‌باشد (Nateghi et al., 2018). به منظور ارزیابی دقت روش‌های طبقه‌بندی از دو پارامتر صحت کلی^۷ و ضریب کاپا^۸ استفاده شد. صحت کلی یکی از ساده‌ترین پارامترهای دقت است که نیاز به عملیات پیچیده‌ای برای محاسبه نداشته و برآوردی کلی از دقت طبقه‌بندی یا به اصطلاح دقیق‌تر، میانگینی از دقت طبقه‌بندی است. دقت

تفکیک‌پذیری در این شاخص از صفر الی ۲ بیان شده است، که صفر معادل عدم تفکیک‌پذیری در کلاس‌ها و ۲ نشان‌دهنده تفکیک کامل کلاس‌ها می‌باشد. برای اجرای طبقه‌بندی مناسب و با دقت، باید میزان تفکیک‌پذیری از ۱/۸ بالاتر باشد (Jeffreys, 1946). در جدول (۴)، نتایج کمی تفکیک‌پذیری طبقات در نمونه‌های تعلیمی با استفاده از شاخص مذکور آورده شده است.

جدول ۴. نتایج محاسبه شاخص واگرایی برای نمونه‌های

تعلیمی اولیه				
کلاس	گندم	جو	برنج	ذرت
گندم	۰	۱/۹۷	۱/۹۹	۱/۹۹
جو	۱/۹۷	۰	۱/۹۹	۱/۹۹
برنج	۱/۹۹	۱/۹۹	۰	۲
ذرت	۱/۹۹	۱/۹۹	۲	۰

۶.۲. طبقه‌بندی حداکثر احتمال

روش حداکثر احتمال، یکی از رایج‌ترین روش‌های طبقه‌بندی در اکثر پژوهش‌ها و مطالعات می‌باشد (Hopkins et al., 2005). بر این اساس فرض می‌شود تمام نمونه‌های تعلیمی از توزیع نرمال پیروی می‌کنند. در حقیقت نمونه‌های کلاس‌های آموزشی باید معرف آن کلاس باشند (Alipour et al., 2014). بنابراین تا حد امکان باید از تعداد نمونه‌های بیشتری استفاده شود تا تغییرات بسیاری از ویژگی‌های طیفی در این گستره پیوسته قرار گیرد. در طبقه‌بندی حداکثر احتمال، پیکسل موردنظر به طبقه‌ای نسبت داده می‌شود که حداکثر احتمال تعلق پیکسل به آن طبقه وجود دارد (Ahmadi Naddoshan et al., 2010).

۷.۲. طبقه‌بندی ماشین بردار پشتیبان

ماشین بردار پشتیبان یک روش طبقه‌بندی باینری است که با تعیین یک ابر صفحه تفکیک‌کننده بهینه در فضای

1. Support Vector
2. Kernel
3. Linear
4. Polynomial
5. Radial Basic Function
6. Sigmoid
7. Overall ccuracy
8. Kappa Coefficient

شاخص، نسبت معینی از باندهای مادون قرمز نزدیک و قرمز برای نقشه‌های پوشش گیاهی و بررسی شرایط آن‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد. زیرا این دو باند بسته به میزان گیاهان به ترتیب جذب و بازتاب می‌شوند. وجود یک نسبت بالا نشان‌دهنده پوشش گیاهی سالم است، درحالی‌که یک نسبت پایین مبین پوشش گیاهی ناسالم و دچار استرس، یا بدون پوشش گیاهی است (Schowengerdt, 2007). شاخص پوشش گیاهی NDVI از طریق رابطه (۳) محاسبه می‌شود:

$$\text{NDVI} = (\text{NIR} - \text{RED}) / (\text{NIR} + \text{RED}) \quad (\text{رابطه ۳})$$

این شاخص، دارای مقادیر نرمال در دامنه بین -۱ و +۱ است که بررسی و نمایش مقادیر را به راحتی امکان‌پذیر می‌سازد (Entezari et al., 2019). مقادیر منفی در این شاخص حاکی از عدم حضور پوشش گیاهی و مقادیر مثبت مناطقی با پوشش گیاهی را نشان می‌دهد (Feizizadeh et al., 2016). جهت برآورد سطح زیرکشت محصولات منطقه با استفاده از این شاخص (رویکرد دوم)، ابتدا با بررسی تقویم زراعی محصولات عمده و مقایسه آن با دیگر محصولات کشاورزی، بازه‌های زمانی با بیش‌ترین سبزیگی مربوط به محصولات با استفاده از اطلاعات زراعی و نیز تصاویر ماهواره‌ای شناسایی شده و در صورت متفاوت بودن این بازه زمانی با زمان اوج سبزیگی سایر محصولات کشاورزی، شاخص گیاهی روی تصاویر مربوط به بازه زمانی مورد نظر اعمال شده و مناطق با مقدار بالا در این شاخص شناسایی شدند. همان‌گونه که پیش‌تر گفته شد، در سه زمان ۱۷ اردیبهشت‌ماه ۱۳۹۸، ۱۶ تیرماه ۱۳۹۸ و ۱۵ شهریورماه ۱۳۹۸ محصولات عمده از نظر دوران رشد و اوج سبزیگی با یکدیگر و سایر گیاهان منطقه متمایز هستند، بنابراین شاخص مذکور بر روی این سه تصویر پیاده‌سازی شد و با اعمال این شاخص بر روی تصاویر منتخب مناطق زیرکشت شناسایی گردید.

کلی از جمع عناصر قطر اصلی ماتریس خطا تقسیم بر تعداد کل پیکسل‌ها طبق رابطه (۱) محاسبه شد.

$$\sum P_{ij} \text{ OA} = 1/N \quad (\text{رابطه ۱})$$

در این رابطه، OA دقت کلی؛ N تعداد پیکسل‌های آزمایشی و $\sum P_{ij}$ جمع عناصر قطر اصلی ماتریس خطا می‌باشد (Moradi et al., 2016). (Chuanga et al., 2011) بیان کردند که چنان‌چه دقت کلی در نقشه‌های به‌دست‌آمده بیش‌تر از ۷۰ درصد باشد، دقت نقشه‌های به‌دست‌آمده قابل اعتماد است. یکی از پارامترهای دقت که از ماتریس خطا به‌دست می‌آید، ضریب کاپا است که دقت طبقه‌بندی تصویر را نسبت به یک طبقه‌بندی کاملاً تصادفی محاسبه می‌کند. دامنه ضریب کاپا بین صفر و ۱ می‌باشد که عدد یک بیانگر توافق صد درصد طبقه‌بندی با واقعیت زمینی می‌باشد (Mather & Tso, 2009). شاخص کاپا از رابطه (۲) محاسبه شد.

$$\text{Kappa} = [(P_0 - P_e) / (1 - P_e)] \times 100 \quad (\text{رابطه ۲})$$

در این رابطه، P_0 درستی مشاهده‌شده و P_e توافق موردانتظار می‌باشد (Moradi et al., 2016).

۹.۲. شاخص‌های گیاهی

شاخص‌های گیاهی از پرکاربردترین نمونه‌های محاسبات باندی هستند که به‌منظور محاسبه درصد پوشش گیاهی، بررسی انواع پوشش گیاهی و وضعیت سبزیگی یک منطقه طی دوره‌های مختلف به‌کار می‌رود (Sadoghi & Rouhani, 2021). در رویکرد استفاده از شاخص‌های گیاهی جهت برآورد سطح زیرکشت محصولات کشاورزی، از شاخص NDVI استفاده شد. شاخص گیاهی تفاضلی نرمال‌شده^۱ (NDVI) معروف‌ترین، ساده‌ترین و کاربردی‌ترین شاخص‌های گیاهی شناخته شده می‌باشد (Rahimzadegan & Pourgholam, 2017). در این

1. Normalized Difference Vegetation Index

۳. نتایج و بحث

۳.۱. نتایج حاصل از طبقه‌بندی

برای انجام طبقه‌بندی، تصاویر ماه‌های مختلف و بازتاب‌های محصولات در ماه‌های مختلف مقایسه شد و با بررسی تقویم زراعی کشت‌های عمده از میان تصاویر برداشت‌شده از منطقه در نهایت سه سری زمانی ۱۷ اردیبهشت‌ماه ۱۳۹۸، ۱۶ تیرماه ۱۳۹۸ و ۱۵ شهریورماه ۱۳۹۸، به‌عنوان بهترین سری‌های زمانی تصاویر جهت تفکیک محصولات مختلف منطقه انتخاب شدند. با استفاده از روش طبقه‌بندی، پوشش اراضی منطقه و اراضی محصولات عمده کشاورزی شامل گندم، جو، برنج و ذرت، بر روی نقشه شناسایی و تعریف شدند. پس از پایان طبقه‌بندی، نتایج حاصل از طبقه‌بندی از طریق مقایسه نقشه‌های طبقه‌بندی‌شده با واقعیت زمینی و با کمک معیارهای تعیین صحت به‌صورت کمی برآورد شد. نتایج کلی دقت روش‌های طبقه‌بندی براساس صحت کلی، ضریب کاپا و پارامترهای دقت کاربر و تولیدکننده در جدول (۵) آورده شده است.

براساس نتایج اعتبارسنجی، روش ماشین بردار پشتیبان با صحت کلی ۹۰ درصد و ضریب کاپا ۹۲ درصد، دقت

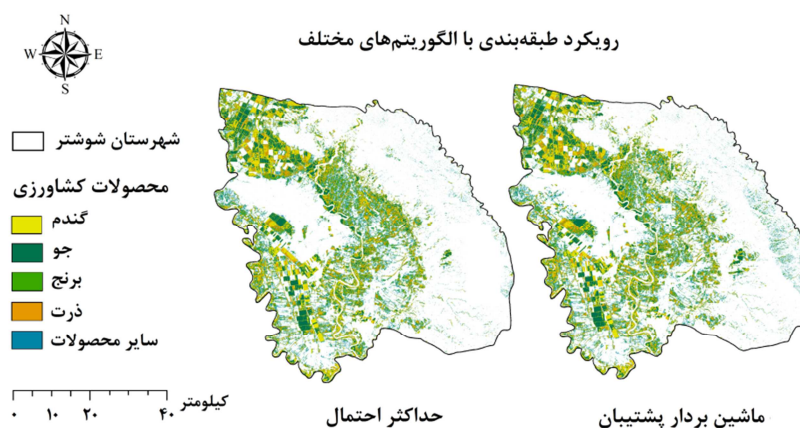
بالاتری را نسبت به روش حداکثر احتمال در طبقه‌بندی تصاویر داشته است. این روش در تفکیک پدیده‌هایی که رفتار طیفی نزدیک به هم دارند، بسیار موفق عمل کرده و بنابراین تفکیک مناسبی روی محصولات کشاورزی موردبررسی نشان داده است.

براساس اطلاعات جدول (۵)، روش طبقه‌بندی حداکثر احتمال با صحت کلی ۸۰ درصد و ضریب کاپای ۹۰ درصد دقت پایین‌تری را داشته است. در این روش، در بعضی از قسمت‌های منطقه، گیاهان به‌خوبی از هم تفکیک نشده بودند و در این مکان‌ها پیکسل‌هایی دیده می‌شد که مربوط به یک گیاه بودند، اما در طبقه سایر گیاهان که با این گیاه هم‌زمانه‌زمانی دوره رشد داشتند، در نظر گرفته شده بود. شکل (۲)، نقشه طبقات محصولات کشاورزی منطقه را در سال ۱۳۹۸ با دو روش طبقه‌بندی حداکثر احتمال و ماشین بردار پشتیبان نشان می‌دهد. برای بررسی بهتر الگوی کشت منطقه در شکل (۲)، کاربری‌های دیگر به‌صورت سفید نشان داده شده و پراکندگی محصولات عمده شامل گندم، جو، برنج و ذرت، بر روی نقشه مشخص شده است.

جدول ۵. نتایج کلی دقت روش‌های طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای

کلاس‌های محصولات عمده	حداکثر احتمال		ماشین بردار پشتیبان	
	دقت تولیدکننده (%)	دقت کاربر (%)	دقت تولیدکننده (%)	دقت کاربر (%)
گندم	۹۶	۹۵	۸۵	۹۷
جو	۹۱	۸۸	۹۹	۷۱
برنج	۸۰	۸۹	۹۶	۹۱
ذرت	۶۸	۶۷	۹۷	۱۰۰
سایر محصولات	۷۶	۷۷	۸۹	۹۰
صحت کلی (درصد)	۸۰		۹۰	
ضریب کاپا (درصد)	۹۰		۹۲	

برآورد سطح زیرکشت محصولات کشاورزی با استفاده از تصاویر ماهواره لندست ۸ (مطالعه موردی: شهرستان شوشتر)



شکل ۲. طبقه‌بندی محصولات کشاورزی با استفاده از روش‌های طبقه‌بندی

برآورد سطح زیرکشت محصولات مختلف می‌شود. نتایج مقایسه روش‌های طبقه‌بندی در رویکرد اول نشان داد که روش ماشین بردار پشتیبان نسبت به روش حداکثر احتمال، دقت بالاتری را در شناسایی و تفکیک اراضی زیرکشت محصولات منطقه داشته است. در اکثر پژوهش‌هایی که در زمینه مقایسه الگوریتم‌های طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای می‌باشند، روش ماشین بردار پشتیبان به‌عنوان روشی موفق در زمینه استخراج اراضی کشاورزی معرفی شده است. این موضوع با نتایج پژوهش‌های *Huang et al.* (2002)، *Rahimzadegan et al.* (2017) و *Mousavi et al.* (2021) همخوانی دارد. در روش حداکثر احتمال، اراضی زیرکشت ذرت و جو به‌ترتیب بیش‌ترین و کم‌ترین مطابقت را با آمار جهاد کشاورزی داشته است. اما در روش ماشین بردار پشتیبان سطح زیرکشت برنج و گندم، به‌ترتیب بیش‌ترین و کم‌ترین مطابقت را با آمار مذکور داشته‌اند. در این مطالعه، تفاوت میان مساحت‌های به‌دست‌آمده با سطح زیرکشت سازمان جهاد کشاورزی، ممکن است از موارد زیر باشد:

۱- تفاوت تاریخ کشت و عوامل بعدی ناشی از آن، که خود باعث به‌وجود آمدن مشکلاتی از جمله بازتاب متفاوت مزارع محصولات مختلف در یک تصویر شده است.

برای تعیین سطح زیرکشت محصولات عمده منطقه به‌کمک نقشه‌های طبقه‌بندی شده، از نقشه‌های طبقه‌بندی شده روش‌های حداکثر احتمال و ماشین بردار پشتیبان استفاده شد. در نهایت، مساحت زمین‌های محاسبه شده از نقشه‌های طبقه‌بندی شده با روش‌های مذکور، با آمارها و اطلاعات مساحت تعدادی از زمین‌ها که مساحت‌های آن‌ها توسط سازمان جهاد کشاورزی استان خوزستان در سال زراعی ۱۳۹۸ ارائه شده بود، مقایسه شد (جدول ۶).

براساس نتایج طبقه‌بندی، مجموع مساحت اراضی کشاورزی در روش حداکثر احتمال ۸۹۰۹۱/۷۷ هکتار بوده که در مقایسه با آمار سازمان جهاد کشاورزی، میزان خطای ۱۳/۷ درصدی را نشان می‌دهد. اما در روش ماشین بردار پشتیبان مساحت کل اراضی زراعی ۸۹۶۰۹/۰۸ هکتار برآورد شده که در مقایسه با آمار سازمان جهاد کشاورزی، میزان خطای ۶/۱ درصدی را نشان می‌دهد. در هر دو روش طبقه‌بندی، سطح زیرکشت برنج و ذرت، در مقایسه با آمار و اطلاعات جهاد کشاورزی بیش‌تر بوده، در حالی که سطح زیرکشت گندم و جو در مقایسه با آمار مذکور، کم‌تر بوده است. علت این اختلاف، شباهت طیف انعکاسی در برخی نقاط بوده که بر قابلیت تفکیک و تشخیص پدیده‌ها تأثیر گذاشته و باعث افزایش خطا در

بیش‌تری باهم داشته باشند، و از نظر تفکیک‌پذیری طیفی، تفکیک کم‌تری را از خود نشان دهند، روش ماشین بردار پشتیبان بیش‌تر از روش حداکثر احتمال توانایی تفکیک خواهد داشت.

۲.۳. پیاده‌سازی شاخص NDVI

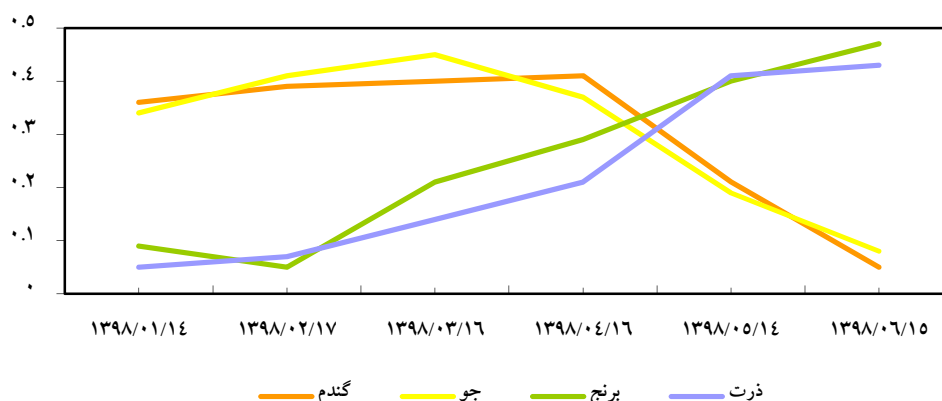
در رویکرد دوم، جهت مقایسه روش‌های طبقه‌بندی حداکثر احتمال و ماشین بردار پشتیبان با روش‌های استفاده از شاخص‌های گیاهی برای تعیین سطح زیرکشت محصولات زراعی، از شاخص NDVI استفاده شد. بدین منظور در این مرحله با توجه به تقویم زراعی محصولات غالب منطقه، نمونه‌های آموزشی در فیلدهای منتخب در تصاویر ۱۷ اردیبهشت‌ماه ۱۳۹۸، ۱۶ تیرماه ۱۳۹۸ و ۱۵ شهریورماه ۱۳۹۸ استخراج شد و روند تغییرات شاخص NDVI در بازه زمانی موردنظر ترسیم شد که نتایج آن در شکل (۳) نشان داده شده است. همان‌گونه که نتایج این شکل نشان می‌دهد، زمان اوج سبزیگی تشخیص داده شده با این روش با تقویم زراعی مستخرج از مراجع و پرسش‌های شفاهی نیز تأیید می‌شود.

در ادامه، با استفاده از نرم‌افزار ENVI شاخص NDVI بر روی تصاویر منتخب پیاده شد و با توجه به تفاوت دوره رشد محصولات غالب و اوج سبزیگی آن‌ها، اقدام به شناسایی و تفکیک مناطق زیرکشت این محصولات نموده شد (شکل ۴؛ جدول ۶). با توجه به جدول (۶)، اختلاف بسیار کمی میان نتایج حاصل از این روش با آمار سازمان جهاد کشاورزی استان خوزستان در سال ۱۳۹۸ وجود دارد. ضرایب کاپا و صحت کلی به‌دست‌آمده برای نقشه الگوی کشت شاخص NDVI، به‌ترتیب ۹۵ درصد و ۹۳ درصد محاسبه شد. مجموع مساحت اراضی کشاورزی در روش استفاده از شاخص NDVI، حدود ۹۳۸۲۸/۷۰ هکتار بوده که در مقایسه با آمار سازمان جهاد کشاورزی، میزان خطای ۱/۲ درصدی را نشان می‌دهد.

۲- در این منطقه زمین‌های کشاورزی کوچک هستند و مساحت اغلب آن‌ها زیر یک هکتار است. همچنین محصولات کشاورزی در این منطقه بسیار متنوع هستند. ۳- کوچک‌ترین گستره‌ای که تصویر استفاده‌شده در پژوهش حاضر قادر است تفکیک کند حدود ۹۰۰ مترمربع است که برای اراضی کشاورزی محدوده موردبررسی، عدد بزرگی است و باعث خطا می‌شود.

بررسی تأثیر میزان تفکیک‌پذیری داده‌های تعلیمی مورداستفاده بر نتایج طبقه‌بندی نشان داد که روش حداکثر احتمال تا حد زیادی تحت تأثیر نوع توزیع داده‌های تعلیمی و نزدیکی آن‌ها به توزیع نرمال است. چرا که هر بار به‌طور تصادفی داده‌های تعلیمی از نمونه‌های تعلیمی موجود انتخاب می‌شوند. اما زمانی که تعداد داده‌های تعلیمی به نیمی از حجم خود نزدیک می‌شوند، حضور داده‌های جدید تأثیر کم‌تری در حالت کلی توزیع داده‌ها می‌گذارد و باعث می‌شود تا دقت این روش در ادامه روندی ثابت پیدا کند. در روش حداکثر احتمال، تا حد امکان باید از نمونه‌های بیش‌تری استفاده شود تا تغییرات بسیاری از ویژگی‌های طیفی در این گستره پیوسته قرار گیرد. اما در روش ماشین بردار پشتیبان، با استفاده از نیمی از داده‌های تعلیمی نیز می‌توان به دقتی معادل استفاده از کل نمونه‌های تعلیمی رسید و دقت بیش‌تری نسبت به روش حداکثر احتمال ارائه نمود. در صورتی که تعداد داده‌های تعلیمی تفکیک‌پذیر کم باشند و این کاهش تفکیک‌پذیری، به‌دلیل کم‌بودن نمونه‌های تعلیمی نباشد، این روش دقت بهتری را نسبت به زمانی که تفکیک‌پذیری نمونه‌های تعلیمی بالا است از خود نشان می‌دهد. براساس بررسی‌های Arekhi & Adibnejad (2011) دقت ماشین بردار پشتیبان به انتخاب کرنل مناسب، اما در روش حداکثر احتمال نمونه‌های تعلیمی اهمیت زیادی دارد و اگر این نمونه‌ها با دقت برداشت شوند، میزان دقت بالا می‌رود. زمانی که داده‌های تعلیمی به لحاظ طیفی شباهت

برآورد سطح زیرکشت محصولات کشاورزی با استفاده از تصاویر ماهواره لندست ۸ (مطالعه موردی: شهرستان شوشتر)



شکل ۳. روند تغییرات شاخص NDVI محصولات غالب منطقه

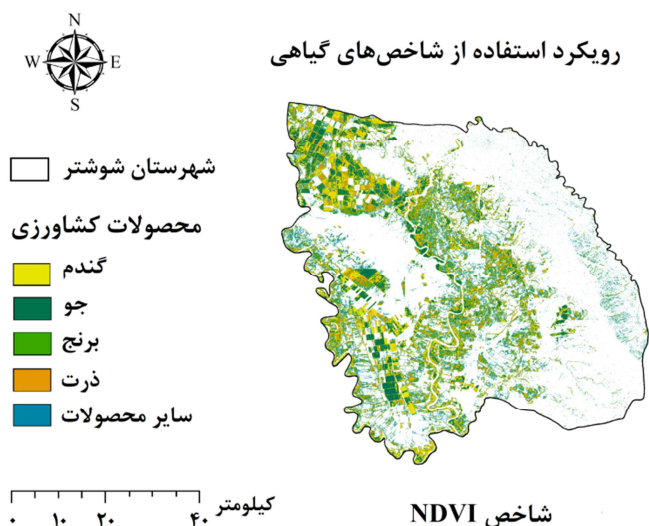
زیرکشت دو محصول گندم و ذرت، در مقایسه با آمار سازمان جهاد کشاورزی بیش‌تر بوده، درحالی‌که سطح زیرکشت جو و برنج در مقایسه با آمار مذکور، کم‌تر بوده است. براساس نتایج ارزیابی صحت و هم‌چنین مقایسه سطح زیرکشت محصولات زراعی با آمار سازمان جهاد کشاورزی، استفاده از شاخص NDVI، بهترین برآورد از مساحت زیرکشت محصولات منطقه را ارائه می‌دهد که بیانگر کارایی مناسب شاخص‌های گیاهی در برآورد سطح زیرکشت با توجه به فنولوژی آن‌ها می‌باشد. این موضوع با نتایج مطالعات *Lobell et al.* (2003) و *Riahi et al.* (2019) که قابلیت بالاتر شاخص موردبررسی را در برآورد سطح زیرکشت محصول نشان دادند، مطابقت دارد. شاخص NDVI با داشتن حد آستانه و تشخیص بهتر تراکم پوشش گیاهی، دقت طبقه‌بندی را افزایش داده و میزان خطا را در تفکیک طبقات مختلف اراضی کشاورزی به حداقل رسانده است. محاسبه این شاخص بر این اساس استوار است که گیاهان سالم در محدوده مرئی طیف الکترومغناطیس دارای بازتابندگی کم هستند که این مورد به دلیل جذب توسط کلروفیل و دیگر رنگدانه‌های موجود در گیاه می‌باشد. هم‌چنین در محدوده مادون قرمز

بررسی تحلیلی طیفی شاخص NDVI برای محصولات زراعی منطقه نشان داد، محصولات گندم و جو از لحاظ رفتار طیفی تقریباً شبیه هم بوده و هر دو محصول در چهار ماه اول سال مقادیر NDVI بالایی داشته‌اند. بعد از چهار ماه اول سال و هم‌زمان با شروع برداشت این محصولات، مقادیر NDVI آن‌ها کاهش می‌یابد. دو محصول برنج و ذرت نیز در چهار ماه اول سال مقادیر NDVI پایینی داشته و با آغاز دوره رویشی و رسیدن به مراحل اوج سبزی‌نگی در چهار ماه دوم سال، مقادیر NDVI آن‌ها روند صعودی می‌یابد. همان‌گونه که مشاهده شد، رفتار طیفی هر یک از محصولات زراعی در طول دوره رشد متفاوت است و در یک زمان خاص نمی‌توان تمامی محصولات را در وضعیت یکسان از دوره رشد، در تصویر مشاهده کرد و زمان اوج سبزی‌نگی هر محصول با سایر محصولات منطقه متفاوت است. هم‌چنین نتایج تحلیل طیفی نمودار NDVI نشان داد که زمان اوج سبزی‌نگی تشخیص داده شده از روش حد آستانه‌های شاخص NDVI با تقویم زراعی و چرخه فنولوژی آن‌ها نیز تأیید می‌شود. براساس نتایج شاخص NDVI در رویکرد دوم، سطح

مادون قرمز میانی با هم تفاوت دارند. با توجه به تقویم زراعی منطقه، دو محصول گندم و جو دوره شخم و کاشت یکسان، اما دوره اوج سبزیگی متفاوتی دارند و همین امر باعث عدم به وجود آمدن مشکلاتی نظیر بازتاب متفاوت مزارع محصولات مختلف در یک تصویر شده است. نکته مهم قابل ذکر در شاخص NDVI تفکیک بهتر مرز طبقات دارای خصوصیات طیفی مشترک نسبت به دو روش طبقه بندی حداکثر احتمال و ماشین بردار پشتیبان بود. به عنوان مثال در بعضی قسمت‌ها محصولات مختلف دارای شباهت‌های طیفی بودند که این روش به خوبی مرزها را شناخت.

نزدیک به دلیل ساختار سلولی برگ دارای بازتابندگی بالا می‌باشند (Arekhi & Fathizad, 2015).

از نتایج به دست آمده می‌توان دریافت که با نزدیک شدن به انتهای فصل رشد میزان ارتباط شاخص استخراج شده از تصاویر ماهواره‌ای با متغیرهای گیاهی کم می‌شود. تفاوت در میزان بازتابش سبب تمایز اجسام نسبت به یکدیگر می‌شود و وجود آب و رطوبت در میزان بازتاب طیف الکترومغناطیسی اثر دارد. نتایج بررسی شاخص NDVI نشان داد رفتار طیفی تمام محصولات در دوره اوج سبزیگی تقریباً شبیه هم بوده، اما در محدوده طیفی ماورای بنفش و آبی و به میزان ناچیزی در محدوده



شکل ۴. طبقه بندی محصولات کشاورزی با استفاده از شاخص NDVI

جدول ۶. برآورد سطح زیرکشت با روش‌های مختلف و مقایسه نتایج آن‌ها با آمار سازمان جهاد کشاورزی در سال ۱۳۹۸

انواع محصول	آمار جهاد کشاورزی (ha)	حداکثر احتمال (ha)	میزان خطا (%)	ماشین بردار پشتیبان (ha)	میزان خطا (%)	شاخص NDVI (ha)	میزان خطا (%)
گندم	۵۶۷۹۲	۴۹۶۳۶/۲۰	-۱۲/۶	۵۱۰۵۶/۰۰	-۱۰/۱	۵۸۱۵۵/۰۰	+۲/۴
جو	۳۴۰۰	۲۸۴۲/۴۰	-۱۶/۴	۳۱۱۷/۸۰	-۸/۳	۳۳۴۹/۰۰	-۱/۵
برنج	۳۲۸۵۹	۳۵۱۷/۷۳	+۸/۷	۳۴۵۳۴/۸۰	+۵/۱	۳۱۴۴۶/۰۶	-۴/۳
ذرت	۸۴۰	۸۹۵/۴۴	+۶/۶	۹۰۰/۴۸	+۷/۲	۸۷۸/۶۴	+۴/۶
مجموع	۹۳۸۹۱	۸۹۰۹۱/۷۷	-۱۳/۷	۸۹۶۰۹/۰۸	-۶/۱	۹۳۸۲۸/۷۰	+۱/۲

۴. نتیجه گیری

در این پژوهش، جهت شناسایی سطح زیرکشت محصولات گندم، جو، برنج و ذرت به عنوان محصولات دارای ارزش اقتصادی شهرستان شوشتر، در قالب دو رویکرد برای تصاویر سری زمانی، چندین روش مورد بررسی قرار گرفت. نتایج بررسی تفکیک پذیری طبقات با معیار فاصله واگرایی نشان داد که میزان تفکیک پذیری طبقات محصولات زراعی با یکدیگر خوب بوده است. در رویکرد اول، روش های متداول طبقه بندی پیاده سازی شدند. نتایج پژوهش نشان داد، از میان روش های طبقه بندی، بهترین دقت مربوط به روش ماشین بردار پشتیبان بود. خطای نسبی این روش در مقایسه با آمارهای جهاد کشاورزی، نسبت به روش دیگر (حداکثر احتمال) مقادیر پایین تری را نشان داد. اختلاف سطح زیرکشت محصولات زراعی در طبقه بندی حداکثر احتمال نسبت به طبقه بندی ماشین بردار پشتیبان، به دلیل اثرات تداخل طیفی بوده که باعث شده بخشی از مساحت یک محصول به سایر محصولات اختصاص یابد. همچنین، نتایج رویکرد اول به طور کلی تصدیق کننده مطالعات پیشین می باشد که در آن ها الگوریتم ماشین بردار پشتیبان دقیق تر از روش حداکثر احتمال و دیگر الگوریتم های به کار برده شده است.

در رویکرد دوم، مقایسه مساحت به دست آمده با استفاده از شاخص NDVI در تصاویر منتخب، با آمار سازمان جهاد کشاورزی و همچنین ارزیابی دقت این روش، نشان دهنده کارایی مناسب شاخص مذکور در برآورد سطح زیرکشت محصولات کشاورزی منطقه نسبت به روش های طبقه بندی حداکثر احتمال و ماشین بردار پشتیبان است. این موضوع می تواند به این دلیل باشد که چون پوشش گیاهی در باند ۴ انعکاس زیاد و در باند ۳ (قرمز) جذب زیاد و انعکاس کم تری دارد،

شاخص NDVI اثر خاک و دیگر پوشش های زمینه را کاهش می دهد. به طور کلی، شاخص پوشش گیاهی NDVI در شناسایی بهتر زمین های کشاورزی، تفکیک زمین های زراعی از سایر پوشش ها با استفاده از حد آستانه های تعریف شده و کسب اطلاعات در ارتباط با تغییرات تراکم پوشش گیاهی نسبت به دو روش طبقه بندی حداکثر احتمال و ماشین بردار پشتیبان ارجحیت دارد. لذا پیشنهاد می شود برای تعیین سطح زیرکشت محصولات شهرستان شوشتر از پیاده سازی شاخص های گیاهی استفاده شود.

پژوهش حاضر نشان داد که تصاویر ماهواره ای از قابلیت بالایی برای شناسایی انواع محصولات و بررسی تغییرات سطح زیرکشت آن ها با دقت مناسب در مقیاس بالا برخوردار است. از سوی دیگر تصاویر ماهواره ای می تواند کاربردهای دیگری در بخش زراعی از جمله پیش بینی و برآورد خسارت و تنش های گیاهی داشته باشند. با توجه به نتایج حاصل، پیشنهاد می شود با به کارگیری روش های دیگر مانند شبکه عصبی به تهیه نقشه سطح زیرکشت محصولات مختلف با تصاویر ماهواره ای و سنجنده های مختلف اقدام شود. همچنین برای تعیین سطح زیرکشت محصولات این منطقه از پیاده سازی سایر شاخص های گیاهی از جمله EVI استفاده شود.

۵. تشکر و قدردانی

از بخش آمار و اطلاعات سازمان برنامه و بودجه استان خوزستان به خاطر فراهم آوردن داده های مورد نیاز این پژوهش، تشکر و قدردانی می گردد.

۶. تعارض منافع

هیچ گونه تعارض منافع توسط نویسندگان وجود ندارد.

۷. منابع

- Aszadeh Tehrani, N., Seyed Ahmad, M., & Janalipour, M. (2020). Estimation of wheat area cultivation using Sentinel 2 satellite images (Case study: Sojasroud region, Khodabandeh city, Zanjan province) *Journal of Environmental Research and Technology*, 5(7), 77-90. (In Persian).
- Ahmadi Naddoshan, M., Soffianian, A., & Khajedin, S. (2010). Land Cover Mapping of Arak City Using Artificial Neural Network and Maximum Likelihood Classifiers. *Physical Geography Research Quarterly*, 41(69), 83-98. (In Persian).
- Alipour, F., Aghkhani, M., Abasspour-Fard, M., & Sepehr, A. (2014). Demarcation and Estimation of Agricultural Lands Using ETM+ Imagery Data (Case study: Astan Ghods Razavi Great Farm). *Journal of Agricultural Machinery*, 4(2), 244-254. (In Persian).
- Arekhi, S., & Fathizad, H. (2015). Evaluating the Efficiency of Four Artificial Neural Network Methods in Preparing Land Cover/Land Use Map Using ETM+ Data. *Geography and Development Iranian Journal*, 12(37), 133-146.
- Arekhi, S., & Adibnejad, M. (2011). Efficiency assessment of the Support Vector Machines for land use classification using Landsat ETM+ data (Case study: Ilam Dam Catchment). *Iranian Journal of Rangeland and Desert Research*, 18(3), 420-440.
- Bagan, H., & Yamagata, Y. (2012). Landsat analysis of urban growth: How Tokyo became the world's largest megacity during the last 40years. *Remote sensing of Environment*, 12:3 210-222.
- Caren, C.D., David, J.M., & Volker, C.R. (2001). Phonological difference in tasseled cap indices improves deciduous forest classification. *Remotesensing of Environment*, 80, 460-472.
- Chuang, W.C., Lina, C.Y., Chiena, C.H., & Choub, W.C. (2011). Application of Markov-chain model for vegetation restoration assessment at landslide areas caused by a catastrophic earthquake in Central Taiwan. *Ecological Modelling*, 222, 835-845.
- Dixon, B., & Candade, N. (2018). Multispectral landuse classification using neural networks and support vector machines: one or the other, or both? *International Journal of Remote Sensing*, 29(4), 1185-1206.
- Entezari, A., Zandi, R., & Khosravian, M. (2019). Evaluation of spatial variations of vegetation and surface temperature using Landsat and midsize images, case study: Fars Province, 1967-2017. *Watershed Engineering and Management*, 11(4), 929-940. (In Persian).
- Feizizadeh, B., Didehban, K., & Gholamnia, K. (2016). Extraction of Land Surface Temperature (LST) based on Landsat Satellite Images and Split Window Algorithm Study area: Mahabad Catchment. *Scientific- Research Quarterly of Geographical Data (SEPEHR)*, 25(98), 171-181. (In Persian).
- Gallego, F.J., Kussul, N., Skakun, S., Kravchenko, O., Shelestov, A., & Kussul, O. (2014). Efficiency assessment of using satellite data for crop area estimation in Ukraine, *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 29, 22-30.
- Gumma, M.K., Thenkabail, P.S., Teluguntla, P., Rao, M.N., Mohammed, I.A., & Whitbread, A.M. (2016). Mapping rice-fallow cropland areas for short-season grain legumes intensification in South Asia using MODIS 250m time-series data, *International Journal of Digital Earth*, 9(10), 981-1003.
- Hopkins, P.F., Maclean, A.L., & Lillesand, T.M. (2005). Assessment of thematic mapper imagery for forestry applications under Lake States conditions. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 54(1), 61-68.
- Huang, C. L., Davis, S., & Townshend, J.R.G. (2002). An assessment of support vector machines for land cover classification, *International Journal of Remote Sensing*, 23(4), 725-749.
- Jain, M., Mondal, P., Galford, G.L., Fiske, G., & Fries, R.S. (2017). An approach to map winter cropped area of smallholder farms across large scales using MODIS imagery. *Remote Sensing*, 9(6), 566.
- Jeffreys, H. (1946). An invariant form for the prior probability in estimation problems. In: Proceedings of the Royal Society of London a: mathematical, physical and engineering sciences, *The Royal Society*, 1007, 453-461.
- Joshi, P.K., Roy, P., Singh, S., Agrawal, S., & Yadav, D. (2006). Vegetation cover mapping in India using multi-temporal IRS Wide Field Sensor (WiFS) data. *Remote Sensing of Environment*, 103(2), 190-202.
- Kavzoglu, T., & Colkesen, I. (2009). A kernel functions analysis for support vector machines for land cover classification. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 11(5), 352-359.

- Keuchel, J., Naumann, S., Heiler, M., & Siegmund, A. (2003). Automatic land cover analysis for Tenerife by supervised classification using remotely sensed data. *Remote Sensing of Environment*, 86(4), 530-541.
- King, L., Adusei, B., Stehman, S.V., Potapov, P.V., Song, X.P., Krylov, A., Bella, C.D., Loveland, T.R., Johnson, D.M., & Hansen, M.C. (2017). A multi-resolution approach to national-scale cultivated area estimation of soybean, *Remote Sensing of Environment*, 195, 13-29.
- Knorn, J., Rabe, A., Radeloff, V.C., Kuemmerle, T., Kozak, J., & Hostert, P. (2009). Land cover mapping of large areas using chain classification of neighboring Landsat satellite images. *Remote Sensing of Environment*, 113(5), 957-964.
- Kumar, P., & Jeganathan, C. (2017). Monitoring Horizontal and Vertical Cropping Pattern and Dynamics in Bihar over a Decade (2001-2012) Based on Time-Series Satellite Data. *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*, 45(3), 485-502.
- Lobell, D.B., Asner, G.P., Ortiz-Monasterio, J.I., & Benning, T.L. (2003). Remote sensing of regional crop production in the Yaqui Valley, Mexico: estimates and uncertainties. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 94, 205-220.
- Mather, P. M., & Tso, B. (2009). Classification methods for remotely sensed data second edition, CRC Press. New York.
- Nateghi, S., Nohegar, A., Ehsani, A.H., & Bazrafshan, O. (2018). Evaluation of vegetation changes based upon vegetation indices using remote sensing. *Iranian Journal of Range and Desert Research*, 24(4), 778-790.
- Moradi, A.R., Jafari, M., Arzani, H., & Ebrahimi, M. (2016). Assessment of land use changes into dry land using satellite images and Geographical information system (GIS). *RS & GIS Techniques for Natural Resources*, 7(1), 89-100.
- Mousavi, S. A., Abbaszadeh Tehrani, N., & Janalipour, M. (2021). Estimation of the train wheat under cultivation area using Sentinel-2 satellite images (Case study: Sojasroud region, Khodabandeh city, Zanjan province). *Journal of Environmental Research and Technology*, 5(7), 17-28.
- Mushtaq, A.G., & Asima, N. (2014). Estimation of apple orchard using remote sensing and agro-meteorology land based observation in Pulwama district of Kashmir valley, *International Journal of Remote Sensing and Geoscience*, 3(6), 21-26.
- Nateghi, S., Nohegar, A., Ehsani, A., & Bazrafshan, O. (2017). Evaluating the vegetation changes upon vegetation index by using remote sensing. *Iranian Journal of Range and Desert Research*, 24(4), 778-790. (In Persian).
- Nguyen, D. B., & Wagner, W. (2017). European rice cropland mapping with Sentinel-1 data: The Mediterranean region case study, *Water*, 9(6), 392.
- Petropoulos, G.P., Kontoes, C., & Keramitsoglou, I. (2011). Burnt area delineation from a unitemporal perspective based on Landsat TM imagery classification using support vector machines. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 13(1), 70-80.
- Rahimzadegan, M., & Pourgholam, M. (2017). Identification of the area under cultivation of Saffron using Landsat-8 temporal satellite images (Case study: Torbat Heydarieh). *Journal of RS and GIS for Natural*, 7(4), 97-115. (In Persian).
- Riahi, V., Zeaiean Firouzabadi, P., Azizpour, F., & Darouei, P. (2019). Identification and investigation of the area under cultivation in Lenjanat using Landsat 8 satellite images. *Researches in Geographical Sciences*. 19(52), 147-169. (In Persian).
- Sadoghi, H., Rajaei, T., & Rouhani, N. (2021). Identification and Investigation of Changes in Area of Hoseynabade Mishmast Village Using Satellite Images. *JWSS*, 24(4), 239-254. (In Persian).
- Schowengerdt, R. A. (2007). *Remote Sensing: Models and Methods for Image Processing*. Academic Press, United States.
- Yadav, I.S., Rao, N.S., Reddy, B.M.C., Rawal, R.D., Srinivasan, V.R., Sujatha, N.T., Bhattacharya, C., Rao, P.P.N., Ramesh, K.S., & Elango, S. (2002). Acreage and production estimation of mango orchards using Indian remote Sensing (IRS) satellite data, *Scientia Horticulturae*, 93(2), 105-123.